



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 10326358 A

(43) Date of publication of application: 08.12.98

(51) Int. Cl. G06T 17/20

(21) Application number: 09136573

(22) Date of filing: 27.05.97

(71) Applicant: TOYOTA MOTOR CORP TOYOTA SYST RES:KK

(72) Inventor: NURIKI TETSUO  
YOSHIKAWA MASAYUKI  
MIZUTANI TOKUYUKI  
GOTOU MISAKA

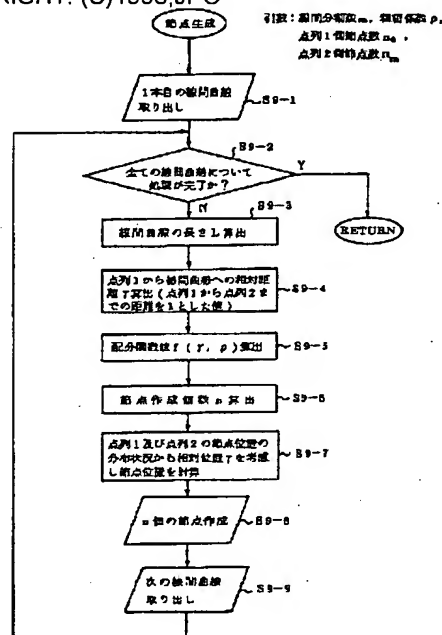
## (54) FINITE ELEMENT DIVIDING METHOD

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

## (57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a finite element dividing method that accurately performs stress simulation by adjusting the variation rate of the division density of a closed area.

**SOLUTION:** A user designates  $\rho$  designating a variation rate of division density for an area of a finite element to be divided as a roughness/denseness coefficient. On the basis of this  $\rho$ , a distribution function  $f(\gamma, \rho)$  representing the density of a shell element is determined. Then, the number of nodes on an inter-line curve dividing the part between a dot sequence 1 and a dot sequence 2 is determined on the basis of the distribution function  $f(\gamma, \rho)$ . The user can adjust the number of nodes provided on the inter-line curve by varying the value of  $\rho$ . Through this adjustment, the variation rate of the division density of mesh elements in the area is freely adjusted to perform accurate stress simulation, etc. Further, since the variation in the division density can be varied according to the purpose, no unnecessary calculation is unwillingly performed.



(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

G 0 6 T 17/20

識別記号

F I

G 0 6 F 15/60

6 1 2 J

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平9-136573

(22) 出願日 平成9年(1997)5月27日

(71) 出願人 000003207

トヨタ自動車株式会社

愛知県豊田市トヨタ町1番地

(71) 出願人 592029681

株式会社トヨタシステムリサーチ

愛知県名古屋市東区東桜1丁目3番10号

東桜第一ビル

(72) 発明者 塗木 哲夫

愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動

車株式会社内

(74) 代理人 弁理士 吉田 研二 (外2名)

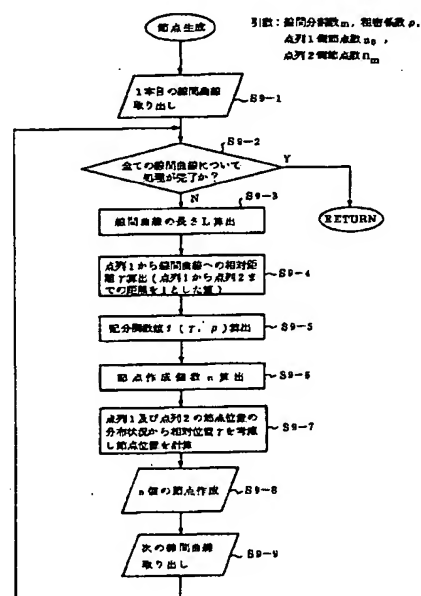
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 有限要素分割方法

(57) 【要約】

【課題】 閉領域の分割密度の変化率を調整することによって、応力シミュレーションなどを正確に行うことができる有限要素分割方法を提供する。

【解決手段】 利用者が有限要素の分割の対象である領域に対し分割密度の変化率を指定する $\rho$ を粗密係数として指定する。この $\rho$ に基づいて、シェル要素の密度をあらわす配分関数 $f(\gamma, \rho)$ が決定される。その後、この配分関数 $f(\gamma, \rho)$ に基づき点列1と点列2の間を分割する線間曲線上の節点数が定められる。利用者は $\rho$ の値を変化させることにより線間曲線上に設けられる節点数を調整することができる。この調整によって、領域のメッシュ要素の分割密度の変化率を自在に調整し、正確な応力シミュレーションなどを行うことが可能となる。また、分割密度の変化を目的に応じて変更できるため、無駄な計算を行ってしまうことがない。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の面または線で囲まれる閉領域を有限要素に分割するCAD装置上における有限要素分割方法において、

前記閉領域を分割する分割密度の変化率を指定する指定ステップと、

前記指定ステップにおいて指定された分割密度の変化率に従って、前記閉領域を有限要素に分割する分割ステップと、

を含むことを特徴とする有限要素分割方法。

【請求項2】 請求項1記載の有限要素分割方法において、

応力シミュレート演算時に変形が大きい変形領域と、変形が小さい非変形領域と、を区別する識別ステップと、前記変形領域を有限要素に分割する分割密度を、前記非変形領域における分割密度より大きく設定する分割密度設定ステップと、

を含むことを特徴とする有限要素分割方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、CAD装置などで作成した部材を有限要素に分割する有限要素分割方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 有限要素解析を行う場合には、解析対象が予め有限要素に分割されている必要がある。近年は部品の形状データなどはCADで作成される場合が多いため、例えば、部材がワイヤーフレームで構成されている場合、このワイヤーフレームに基づき、部材の形状を有限要素に分割（以下、「メッシュに分割」という）する必要がある。

【0003】 この分割後の有限要素は、「メッシュ」と呼ばれることも多い。また、この分割後の有限要素は、「シェル要素」と呼ばれることも多い。

【0004】 一般にCAD装置などにおいては、各部材は、ワイヤーフレームモデルに代表されるように、その形状を所定の面や線で定義することにより設計される。そのため、部材の形状線（デザイン線）に基づいて、メッシュに分割することが一般に行われている。

【0005】 このような有限要素分割方法としては種々の方法が提案されている。一般に部材は上述したように、所定の面や線で囲まれたものとして定義されることが多いので、有限要素分割は部材の形状を構成するこれら各面（領域）毎に行う場合が多い。

【0006】 例えば、特開平7-282105号公報には、CADにおいて、1つの面又は線で囲まれた領域単位で、シェル要素の大きさ（＝メッシュサイズ）や形（四角形など）を制御する有限要素分割方法が示されている。

【0007】 しかし、シェル要素をどの程度の密度で分

割すべきかについては具体的な記述はなされていないため、自動生成されたシェル要素群を用いて、CAD設計された所定の部品にかかる応力伝達をシミュレート演算を実行すると、無駄な計算を行ってしまう場合も想定される。その一方、極めて粗い計算結果しか得られない場合も想定される。

【0008】 さて、車両などを構成する部品の形状を構造解析用のシェル要素で表現し、その部品の強度・剛性・衝突特性などの数値や現象を、例えば有限要素法などにより構造解析をする場合について説明する。

【0009】 例えば、図10には、シェル要素をその内部に発生させようとする四角形領域の例が示されている。この四角形領域には、図10に示されるように相対する2辺に既に節点が存在している。この図に示されているように、一方の辺には3個の節点が既に存在しており、これら3個の点を点列1と呼ぶ。他方の辺の上には既に5個の節点が設けられており、これら5個の節点を点列2と呼ぶ。そして、このようにあらかじめ設定されている節点を用いてシェル要素への分割を行おうとする場合について説明する。このような状況は車両の部品形状を分割しようとする場合などにしばしば見られる状況である。

【0010】 例えば、点列1は部品のある特徴的な部位における節点であり、点列2は同じ部品の他の特徴的な構造を有する部位である場合などがこれに相当する。また、複数の部品が組み合わされて構成されている構造物の場合には点列1がある部品の上に設けられている節点であり、点列2が他の部品の形状上に設けられた節点である場合なども考えられる。いずれの場合においても、一つの四角形領域を囲む辺にあらかじめ節点が存在する場合にその四角形領域の内部にシェル要素を発生するということは実際のシミュレーションにおいてしばしば見られる状況である。

【0011】 さて、この点列1と点列2との間を（CAD装置の利用者が）m個に分割すると指定し、この指定に基づいてCAD装置が自動的に、この四角形領域中にシェル要素を発生させるという操作が一般的有限要素の分割方法の作業である。利用者が分割数のmを指定すると、点列1と点列2の節点の個数の差から一義的にm<sub>n</sub>列目におけるY方向の節点数が定められ、定められた節点によりシェル要素が発生させられる。なお、分割数mは、以下、線間分割数mと呼ぶ。ここで、隣接する列の上にある節点の数が異なる場合には、適宜三角形の要素を発生させることによりつじつまをあわせてシェル要素が形成されるのである。

【0012】 従来の有限要素分割方法によって、点列1と点列2に囲まれる四角形領域に対し分割を行った場合の様子が、例えば図11に示されている。この図に示されている例においては線間分割数mは4である。この図に示されているように、点列2においては5個あった節

10

20

30

40

50

点が徐々にその個数が減少し、点列1における3個になめらかに移行している。すなわち、各列の節点の個数が5、5、4、3のように順にその個数が減少している。そして、同図に示されているように節点の個数が異なる列同士においては適宜三角形要素を発生させてつじつまあわせが行われている。

#### 【0013】

【発明が解決しようとする課題】図11に示されているようなシェル要素の分割手法は、この四角形領域の点列2側に対し、この点列2と平行方向に荷重が加わった場合の変形領域が点列2から2列目(図11に向かって右側の2列)の範囲までに及ぶ場合には好適なものであると考えられる。

【0014】三角形のシェル要素は一般的には四角形のシェル要素よりも精度が落ちるため、図11に示されている四角形領域の右側2列だけでなく、左側の2列目の付近まで荷重による変形が及ぶ場合には、計算結果に対する信頼性が低下してしまう。したがって、一般には変形が及ぶ領域までは四角形のシェル要素で有限要素分割を行うのが好ましいと考えられる。

【0015】このような変形領域は、荷重の大きさや荷重の方向、またその部品のおかれる位置などによって異なるため、各部品毎、試験内容によって変形領域は異なるものである。しかしながら、上記従来の方法では線間分割数 $m$ を指定した場合に一義的に三角形要素の発生位置が決められてしまうため、シミュレーションの各状況に適応した有限要素への分割を行うことは困難であった。

【0016】その他の分割手法を採用した場合の例を種々説明する。

【0017】例えば図1から図5には、点列1として3個の節点が存在し、また点列2として9個の節点が存在する場合のシェル要素の分割の例が示されている。これらの図に示されている例はいずれも点列1と点列2の間を10等分割する例である。

【0018】例えば、図1に示されている例は、点列1側で集中的につじつまあわせをしたものである。すなわち分割の対象である四角形領域のほとんどは規則正しい四角形要素で作成されている。これは、点列2に荷重が加えられた場合にその影響が点列1の近くにまで及び、四角形領域のほとんどが変形領域となる場合にはこのような分割が好ましいと考えられる。

【0019】図2に示されているような分割の例では、分割の対象である四角形領域の右半分においては概ね規則正しい四角形要素により分割が行われているが、四角形領域の向かって左半分の領域においては三角形要素が適宜設けられている。上述したように、三角形のシェル要素は四角形のシェル要素に比べて精度が落ちる。したがって、点列2に印加された荷重による影響が図2における四角形領域の左半分にはほとんど及ばず、右半分の

領域にのみ及ぶ場合には、図2に示されているような分割方法が好ましいと考えられる。

【0020】図2の例においては、同図に示されているように、点列2側から4列目までが点列2に対する荷重の影響が及ぶ変形領域であり、四角形領域の真ん中の3列は影響が少し及ぶ領域であると考えられる。また図2に向かって右の3列には点列2に加えられた荷重の影響がほとんど及ばない。以上のような状況の下では、図2に示されるような分割が好ましいと考えられる。

【0021】さて、図1に示されているように、なるべく四角形要素が多くなるような分割をすれば精度の高い計算を行うことが可能であると一般的には考えられる。しかし、点列2が存在する辺と垂直な方向に動的荷重が加えられた場合には、現実の現象としては荷重が作用する位置に近い点列2側における変形が大きく、点列1側に近づくにつれて変形が小さくなる。これに対し、図1に示されているように点列1側で集中的につじつまあわせがなされているようなメッシュパターン(分割のパターン)では、点列1に属する節点の質量が非常に大きい10ため、 $m_1$ 列 $\sim m_2$ 列間のシェル要素の一部(特に両端部のシェル要素)に負担が集中するため、実際の現象とは異なる結果となる可能性がある。このことは、常に図1のように細かく分割すればよいと言うものではないことを意味している。なお、図1におけるこの両端部のシェル要素はハッチングで示されている。

【0022】上記図1や図2に対し、図3に示されている分割の方法は、点列2側に印加される荷重の影響がこの四角形領域にはほとんど及ばないことを想定した分割の方法である。そのため、変形領域としては点列2側の1列のシェル要素だけが影響を受けるものとしている。30このような仮定の下で、点列2から点列1にかけて滑らかに節点の数を減少させていったものである。従って、この図3に示されている分割の方法においては、三角形要素が四角形領域の中に一様に分布する分割となっている。図3に示されているようなメッシュパターン(分割の方法)は点列2側から徐々に要素サイズを大きくしていくことになる。従って、図1で述べたようにシェル要素の一部に負担がかかり実際の現象とは異なるシミュレーション結果となる可能性を小さくすることができる場合もある。40

【0023】このように、シェル要素に分割しようとする四角形領域の外周の辺にあらかじめ節点が存在している場合、その四角形領域の内部を一義的に分割したのでは、応力シミュレーションの種類によっては正確な計算結果を得られない場合もある。従って、従来の有限要素分割方法のように、三角形要素の発生位置が一義的に決められて、そのメッシュパターンの修正を行わずに様々な構造解析を行った場合には、以下のような問題が生じる可能性がある。

【0024】例えば、変形量を過小に予測したため、実

際の試作品による試験で失敗をし、設計変更を余儀なくされる場合も考えられる。また、過大な変形量を予測したために必要以上の補強を行ってしまう場合も考えられる。さらには、特に変形の大きい位置を誤ることにより、補強する必要のない箇所に補強をしてしまうことによって重量増を引き起こしてしまう事態も考えられる。そのため、従来の有限要素分割方法によって作成されたメッシュ要素に対しては、必要に応じ利用者が手動でメッシュ分割の調整を行う場合もあった。

【0025】本発明は、かかる課題に鑑みなされたものであり、その目的はメッシュ要素への分割の密度の変化率を利用者が調整することができる有限要素分割方法を提供することである。

【0026】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明は、所定の面または線で囲まれる閉領域を有限要素に分割するCAD装置上における有限要素分割方法において、前記閉領域を分割する分割密度の変化率を指定する指定ステップと、前記指定ステップにおいて指定された分割密度の変化率に従って、前記閉領域を有限要素に分割する分割ステップと、を含むことを特徴とするものである。

【0027】この変化率を指定するステップは、例えば後述する実施の形態において説明しているように、粗密係数を用いて配分関数のグラフの形状を変化させることにより行われる。

【0028】利用者が分割する密度の変化率を指定できるため、有限要素の使用目的に応じた適切な有限要素の分割が行える。

【0029】また、本発明は、上記有限要素分割方法において、応力シミュレート演算時に変形が大きい変形領域と、変形が小さい非変形領域と、を区別する識別ステップと、前記変形領域を有限要素に分割する分割密度を、前記非変形領域における分割密度より大きく設定する分割密度設定ステップと、を含むものである。

【0030】分割密度の変化率を指定する際に、領域の変形領域と、非変形領域とを区別して、これらの領域に基づいて、分割の密度の変化率を設定したのでより確かな分割密度の変化率を指定できる。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、本発明の好適な実施の形態を図面に基いて説明する。

【0032】本実施の形態における原理

本実施の形態は、図10に示されるように四角形領域の対向する辺上にあらかじめ節点が設けられている場合の有限要素分割方法に関するものである。

【0033】特に、各辺上の節点を利用して有限要素の分割を行う場合に、その四角形領域内のメッシュの密度の変化の割合を自由に調整しうるようにしたものである。

【0034】まず、点列1と点列2との間で作成されるべき三角形要素の個数は、両者の節点の個数の差 $N_m - N_o$ により一意に計算される。ここで $N_m$ は点列2における節点の個数であり、 $N_o$ は点列1の節点の個数である。

【0035】この四角形領域を分割する線間分割数 $m$ は、本実施の形態においても従来と同様に利用者から与えられる。そして、この線間分割数 $m$ に基づいて $m-1$ 本の分割線が点列1と点列2の間に設けられる。この分割線における節点の個数を $N_k$ とあらわす。ここで $k$ は、 $1 \leq k \leq m-1$ である。

【0036】本実施の形態において特徴的なことは、各分割線の点列1からの相対距離 $\gamma$ と、三角形要素の配分を制御するための粗密係数 $\rho$ と、に基づき、この節点の個数 $N_k$ を算出したことである。そして、利用者は粗密係数 $\rho$ を指示することにより三角形要素の配分を制御することが可能となる。この粗密係数による三角形要素の配分について以下説明する。

【0037】具体的な配分の内容は、節点の個数を以下の式で表すことにより示される。

【0038】

$$\text{【数1】 } N_k = \text{int} \{ (N_m - N_o) \cdot f(\gamma, \rho) + 0.5 \} + N_o$$

ここで、関数 $\text{int}()$ は小数点以下の切り捨てを行い整数化をする関数である。また、配分関数 $f(\gamma, \rho)$ は、 $0 \leq f(\gamma, \rho) \leq 1$ の関数であり、その具体的な例は次に説明する。また、 $\gamma$ は点列1から、その分割線の位置までの相対距離であり、点列1と点列2の間の距離を1とした場合の比率で表されている。従って $\gamma$ は $0 \leq \gamma \leq 1$ の値を取りうる。

【0039】また、粗密係数 $\rho$ は、本実施の形態においては $-1$ から $1$ までの値を取る。すなわち、 $-1 \leq \rho \leq 1$ である。なお、粗密係数 $\rho$ の値に関わりなく、 $\gamma$ が0のときには関数 $f(\gamma, \rho) = 0$ であり、 $\gamma = 1$ の場合には配分関数 $f(\gamma, \rho) = 1$ となる。これは、 $\gamma$ が0であるということは、点列1からの距離が0であることを意味し、それは点列1に他ならず、その節点数は $N_o$ に他ならないからである。

【0040】また、 $\gamma$ が1であることはそれはとりもなおさず点列2そのものであり、点列2上の節点の個数は $N_m$ となるからである。

【0041】さて、 $\gamma$ が0と1の間の値である場合には、関数 $f(\gamma, \rho)$ は0と1の間の値を取るが、具体的な配分関数 $f(\gamma, \rho)$ の曲線の傾き等は粗密係数 $\rho$ によって定められる。

【0042】例えば、配分関数 $f(\gamma, \rho)$ としては以下の式とすることが好ましい。

【0043】

【数2】

$$f(r, \rho) = \frac{r(1+\rho)^2}{4r\rho + (1-\rho)^2}$$

ただし、 $0 \leq f(r, \rho) \leq 1$ ,  $0 \leq r \leq 1$ ,  $-1 \leq \rho \leq 1$

$r=0$ の時:  $f(r, \rho)=0$

$r=1$ の時:  $f(r, \rho)=1$

上記配分関数  $f(r, \rho)$  によれば、 $r$  が 0 の場合には必ず  $f(r, \rho)$  は 0 となり、 $r=1$  の場合には配分関数  $f(r, \rho)$  は 1 となる。

【0044】利用者は粗密係数  $\rho$  の値を与えることにより、この配分関数  $f(r, \rho)$  の曲線の形を変化させることができる。なお、本実施の形態においては  $\rho$  の値のデフォルト値として「0」が規定されている。この場合には配分はいわゆる等配分となり、点列1から点列2に向かって節点の数はリニアに変化する。その結果、発生する三角形のシェル要素は四角形領域中に一様に分布することになる。

【0045】以下、 $\rho$  の値と、配分関数  $f(r, \rho)$  の曲線の形との関係について説明する。

【0046】(1)  $\rho=0$  のとき (等配分のとき)  
 $\rho$  が 0 の場合には上記配分関数  $f(r, \rho) = r$  となり、節点数  $N_k$  は以下の式であらわされる。

【0047】

【数3】

$$N_k = \text{int} \{ (N_m - N_o) \cdot r + 0.5 \} + N_o$$

したがって、各分割線上に位置する節点の個数は点列1と点列2の間で直線的に変化する。この  $\rho=0$  の場合のシェル要素への分割の様子は上記図3に示されている。図3に示されている分割は、上述したように三角形要素が四角形領域中に均等に分散するような分割が行われている。

【0048】なお、この  $\rho=0$  の場合とは、上述したように、CAD装置のデフォルト値とされている。すなわち、利用者が  $\rho$  の値を指示しなかった場合には  $\rho$  は 0 に設定されるのである。

【0049】(2)  $\rho=1$  のとき (点列1側配分集中のとき)

利用者が粗密係数  $\rho$  の値として 1 を指定した場合には、上記配分関数  $f(r, 1) = 1$  となる。その結果、各分割線の節点の個数  $N_k$  は、以下の式であらわされる。

【0050】

【数4】

$$N_k = \text{int} \{ (N_m - N_o) + 0.5 \} + N_o$$

すなわち、構成点数  $N_k$  は常に  $N_m$  に等しい値となり、分割の対象である四角形領域に設けられる各分割線における節点の個数は点列2に設けられている節点の個数と等しくなる。従って、この  $\rho=1$  の場合の分割の様子

は、上記図1に示されているようになる。

【0051】すなわち、利用者は点列2に加えられる荷重の影響が分割の対象である四角形領域の全体に及ぶと判断する場合には粗密係数  $\rho$  の値を 1 に指定するのである。すると、図1に示されるように四角形領域に対する分割は、点列2側の節点数に基づいて、主に四角形のシェル要素によって行われる。その結果、点列2側に荷重が加えられた場合においても、精度の高いシミュレーションの計算を行うことができる。

【0052】(3)  $\rho=-1$  のとき (点列2側配分集中のとき)

粗密係数  $\rho$  が -1 の場合には、配分関数  $f(r, -1)$  の値は常に 0 となる。すなわち、分割線の構成点数  $N_k$  の値は以下の式で表されるようになる。

【0053】

$$\text{【数5】 } N_k = \text{int} \{ 0.5 \} + N_o = N_o$$

すなわち、構成点数  $N_k$  は常に点列1側の節点数である  $N_o$  の個数と等しくなる。 $\rho$  の値が -1 である場合には図1に示されているような分配とは異なり四角形領域の分割線上の節点が3個 ( $=N_o$ ) となる。 $\rho$  が -1 である場合のこのようなシェル要素への分割の様子が図5に示されている。

【0054】このような分割のパターンは、点列2側に配分を集中したものであり、点列2側に加えられた荷重の影響が分割の対象である四角形領域のほとんどの部分には影響を及ぼさない場合に好ましい分割のパターンである。荷重の影響が対象となる領域にはほとんど及ばず、分割対象領域には荷重による変形がほとんど生じない場合には、利用者はこの四角形領域に対し  $\rho$  の値として -1 を指定し、図5に示されるようなシェル要素への分割を行わせることが好適である。

【0055】(4)  $\rho=0.5$  のとき

$\rho=0.5$  のときには、配分関数  $f$  は、以下の式で表される。

【0056】

$$\text{【数6】 } f(r, 0.5) = 9r / (8r + 1)$$

さて、この配分関数  $f(r, \rho)$  ( $\rho=0.5$ ) のイメージが図6に示されている。図6には配分関数  $f(r, \rho)$  の曲線が粗密係数  $\rho$  によりどのように変化するかを説明するグラフが示されている。このグラフは、横軸が  $r$  であり、縦軸が配分関数  $f(r, \rho)$  の値である。こ

のグラフの中央の斜めの破線は $\rho$ が0である場合の $f(\gamma, \rho)$ のグラフであり、上記(1)で述べたようにこの場合配分関数 $f(\gamma, 0) = \gamma$ となる。また、このグラフには $\rho$ が0.5の場合と-0.5の場合のグラフの外形が示されている。 $\rho$ が0.5の場合には配分関数 $f(\gamma, \rho)$ の値は全体的に1に近づき、点列1側に三角形要素が集中して配分されることになる。一方、 $\rho$ の値が-0.5の場合には点列2側の方に偏って三角形のシェル要素が配分されるのである。

【0057】このように、本実施の形態においては粗密係数 $\rho$ によって配分関数 $f(\gamma, \rho)$ のグラフの形を変化させ、シェル要素への分割の対象である領域における密度分布の傾きを調整することができたものである。このことは、換言すれば密度が変化し、その結果発生する三角形要素の配分する位置を調整したものである。

【0058】 $\rho = 0.5$ の場合のシェル要素への分割を行わせた場合の様子が図2に示されている。この図に示されているように、 $\rho = 1$ の場合と異なり、 $\rho = 0.5$ のときは、三角形要素は四角形領域の概ね点列1側部分に集中して分布している。

【0059】(5)  $\rho = -0.5$ のとき  
 $\rho$ の値が-0.5の場合には配分関数 $F(\gamma, -0.5) = \gamma / (-8\gamma + 9)$ となり、このグラフの形も図6に示されている。この場合には、四角形領域内に発生する三角形要素は点列2側の方に偏って配分されることになる。尚、 $\rho = -0.5$ の場合のシェル要素への分割の様子が図4に示されている。

【0060】本実施の形態の処理動作  
 上では、本発明の基本的な原理を図面にに基づき説明した。次に、フローチャートに基づき、本実施の形態に係る有限要素分割方法における処理の流れを説明する。

【0061】図7には、利用者の側からみた本実施の形態に係る有限要素分割方法による有限要素の分割の処理の流れをあらわすフローチャートが示されている。

【0062】まず、ステップS7-1においては利用者が所定の四角形領域に対し点列1と点列2の間を分割する線間分割数 $m$ を指定する。またこの線間分割数 $m$ だけでなく、利用者は線間分割方式をも入力する。この線間分割方式とは、分割を点列1と点列2の間で等分割とするか、又は等比分割とするか、等の種々の方式をいうものとする。

【0063】上記図1～図5などにおいて説明した例においては点列1と点列2の間は全て同じ間隔で分割されており、これを等分割方式と呼ぶ。しかし、分割の方式は例えば図8に示されるように隣接する分割の間隔が例えば常に $n:1$  ( $n$ は1より大きい実数)となるような等比分割とすることも考えられる。どの分割方式とすべきかは、得られるシェル要素によって計算される応力シミュレーションの性質などによって、適宜最適な分割方式を決定すべきである。なお、この分割方式は従来から

用いられている他の種々の分割方式を採用することも可能である。

【0064】また、ステップS7-1においては利用者がその領域に対する粗密係数 $\rho$ を入力する。本実施の形態において特徴的なことは利用者がこの粗密係数 $\rho$ をそれぞれの領域毎に指定することにより、その領域におけるメッシュ要素の密度の変化の様子を調整することができることである。 $\rho$ の値によるメッシュ要素の密度の調整は上記図1～図6において説明したとおりである。

【0065】また、ステップS7-2においては、利用者によって指示されている線間分割方式(等分割方式、等比分割方式など)に基づいて、点列1と点列2との間に $m-1$ 本の線間曲線を作成する。この線間曲線の作成自体は従来の技術を用いて可能である。

【0066】なお、本実施の形態においては分割対象となる領域を四角形領域を例として説明しているが、本発明に係る有限要素分割方式は、必ずしも四角形領域に限られず、例えば点列1と点列2とが曲線であるような領域、その他の自由曲面などにおいても適用することが可能である。

【0067】ステップS7-3においては、上記 $m-1$ 本の線間曲線上にそれぞれ適切な節点の分割数によって節点を自動的に作成する。このステップの動作が、本実施の形態において特徴的な動作であり、適切な節点の分割数(=節点の個数)は上記配分関数 $f(\gamma, \rho)$ によって自動的に計算されるのである。このステップS7-3の動作については、後に詳述する。

【0068】ステップS7-4においては、点列1と、点列1と点列2の間の線間曲線と、点列2のそれぞれの線間において、任意の構成節点決定基準に従って、板要素を自動的に作成する。この決定基準とは例えば、より長方形に近い四角形とするなどの基準をいい、板要素とは、具体的には四角形や三角形の要素を意味する。このステップS7-4における動作は従来の有限要素分割法において従来から用いられてきたものである。

【0069】このような処理の流れにより、本実施の形態に係る有限要素分割方法によって応力シミュレーションなどの計算を精度良く行うことができる有限要素分割方法が得られる。

【0070】さて、上記ステップS7-3における適切な節点分割数の算出が、本実施の形態において特徴的なことであり、その動作について図9に示されているフローチャートを用いて詳細に説明する。

【0071】図9に示されているフローチャートにおいて、まずステップS9-1において1本目の線間曲線が取り出される。この線間曲線は、上で述べたステップS7-2において自動的に作成される線間曲線である。

【0072】次に、ステップS9-2において全ての線間曲線について処理が完了したか否かが検査され、処理が完了している場合には図9におけるフローチャートの



動作の全てが終了する。

【0073】ステップS9-2において全ての線間曲線について処理が完了していない場合には、ステップS9-3に処理が移行し、取り出した線間曲線の長さLの算出が行われる。

【0074】本実施の形態においては主に四角形領域についての分割を説明しているが、点列1や点列2が曲線であってももちろん構わない。この場合にも、このステップS9-3において線間曲線（点列1と点列2が曲線の場合には線間曲線も一般に曲線になると考えられる）の長さLの算出が行われる。

【0075】ステップS9-4においては点列1からその線間曲線への相対距離 $\gamma$ の算出が行われる。この $\gamma$ は、上で説明したように、点列1から点列2までの距離を1とした場合の相対値である。すなわち相対距離 $\gamma$ は0から1までの間の値をとるものである。

【0076】ステップS9-5においては配分関数の値 $f(\gamma, \rho)$ の算出が行われる。この配分関数 $f(\gamma, \rho)$ については上で説明したとおりであり、利用者が指定した $\rho$ の値によって、そのグラフの形状が調整される関数である。

【0077】さて、上述したように $\rho$ の値によって、配分関数のグラフの形状を変化させることができるため、分割の密度の変化率を調整することができるが、具体的には応力による変形がどこまで及ぶかを考慮して $\rho$ の値を指定することが好ましいと考えられる。

【0078】例えば、点列2側に加えた荷重による変形が点列2側から4列程度にまで及ぶ場合には、図2に示されているような分割が好ましいため、 $\rho=0.5$ に設定する事が適当であると判断するのである。そして、変形領域が点列2側から1列程度である場合には、図3に示されているような分割が好ましいため、 $\rho=0$ （デフォルト値）に設定する事が適当であると判断するのである。

【0079】このように、まず、分割の対象である領域における変形領域と非変形領域とを区別し、これらの変形領域と非変形領域の分布に基づいて粗密係数 $\rho$ を定めれば、実際の変形に基づいて $\rho$ を指定できるため、指定がし易くなるものである。

【0080】次に、ステップS9-6においてこの配分関数 $f(\gamma, \rho)$ を用いて、節点を作成する個数 $n$ の算出が行われる。この節点の個数 $n$ の計算についても上で説明した式に基づいて計算が行われる。

【0081】ステップS9-7においては、点列1及び点列2の節点位置の分布状況から相対値 $\gamma$ を考慮し節点の位置を計算する。

【0082】次に、ステップS9-8においては計算された位置に基づき、取り出した線間曲線上に $n$ 個の節点を作成していく。節点位置を計算し節点を作成していくこと自体は従来の手法がそのまま適用可能である。

【0083】ステップS9-9においては、次に処理の対象となる線間曲線の取り出しが行われる。その後、ステップS9-2に処理が移行し、処理が全て終了したか否かの検査が行われ、終わっていない場合には処理が繰り返される。

【0084】以上述べたように、本実施の形態においてはCAD装置等において、利用者が粗密係数 $\rho$ を指定することにより、有限要素への分割の密度の変化率を調整できる事について説明した。特に、分割をしようとする領域の周囲の節点が既に定められている場合には、その節点に基づいて有限要素への分割を行うが、その際の分割密度の変化率を調整できることを説明した。

【0085】したがって、本実施の形態によれば、有限要素の密度の分布を効率的に調整可能であるため、その分割後のシェル要素の使用目的に応じた効率的な分割を行うことが可能である。

【0086】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば、有限要素に分割する際の密度の変化率を調整することができ、応力シミュレートなどにおいて、正確で、かつ迅速な計算を実現することが可能である。

【0087】また、本発明によれば、変形が大きい変形領域と、変形の小さな非変形領域とを区別し各領域において分割密度を調整したため、精度良くシミュレート演算等を行うことが可能な有限要素分割方法が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】  $\rho$ が1の場合の有限要素への分割の様子をあらわす説明図である。

【図2】  $\rho$ が0.5の場合の有限要素への分割の様子をあらわす説明図である。

【図3】  $\rho$ が0の場合の有限要素への分割の様子をあらわす説明図である。

【図4】  $\rho$ が-0.5の場合の有限要素への分割の様子をあらわす説明図である。

【図5】  $\rho$ が-1の場合の有限要素への分割の様子をあらわす説明図である。

【図6】 粗密係数 $\rho$ による配分関数 $f(\gamma, \rho)$ のグラフの変化の様子をあらわす説明図である。

【図7】 本実施の形態における有限要素分割方法の処理の流れをあらわすフローチャートである。

【図8】 点列1と点列2との間を等比分割する場合の様子をあらわす説明図である。

【図9】 図7における節点の生成の処理の流れをあらわすフローチャートである。

【図10】 点列1と点列2によって囲まれる四角形領域において、点列2と平行な方向に荷重が印加される場合の説明図である。

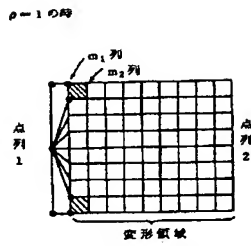
【図11】 従来の有限要素分割方法において四角形領域がメッシュ要素に分割されている場合の説明図である。



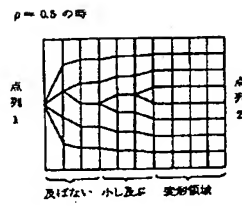
【符号の説明】

1, 2 点列。

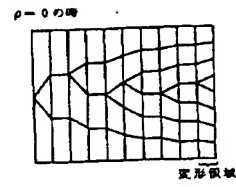
【図1】



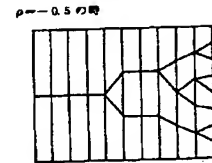
【図2】



【図3】

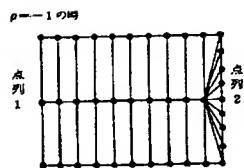


【図4】

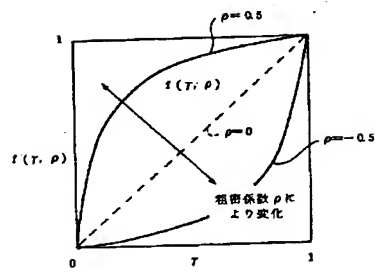
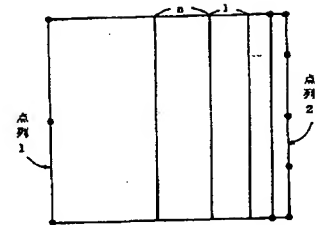


【図8】

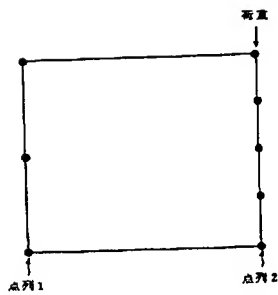
【図5】



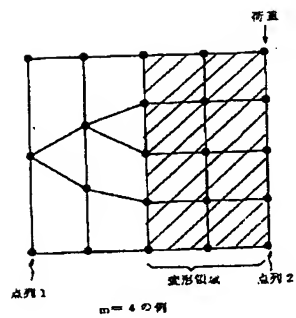
【図6】

配分関数  $f(T, \rho)$  のイメージ

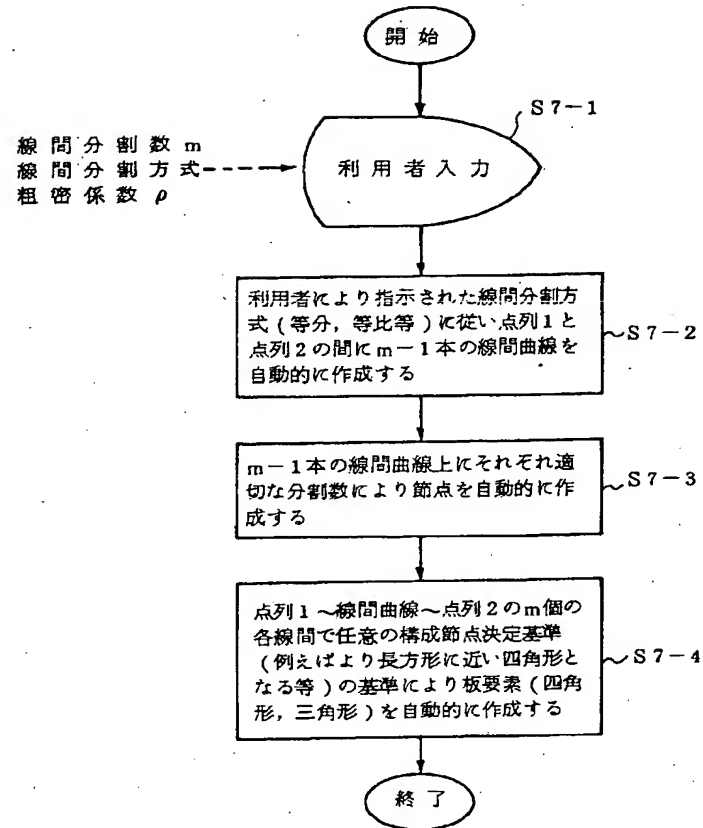
【図10】



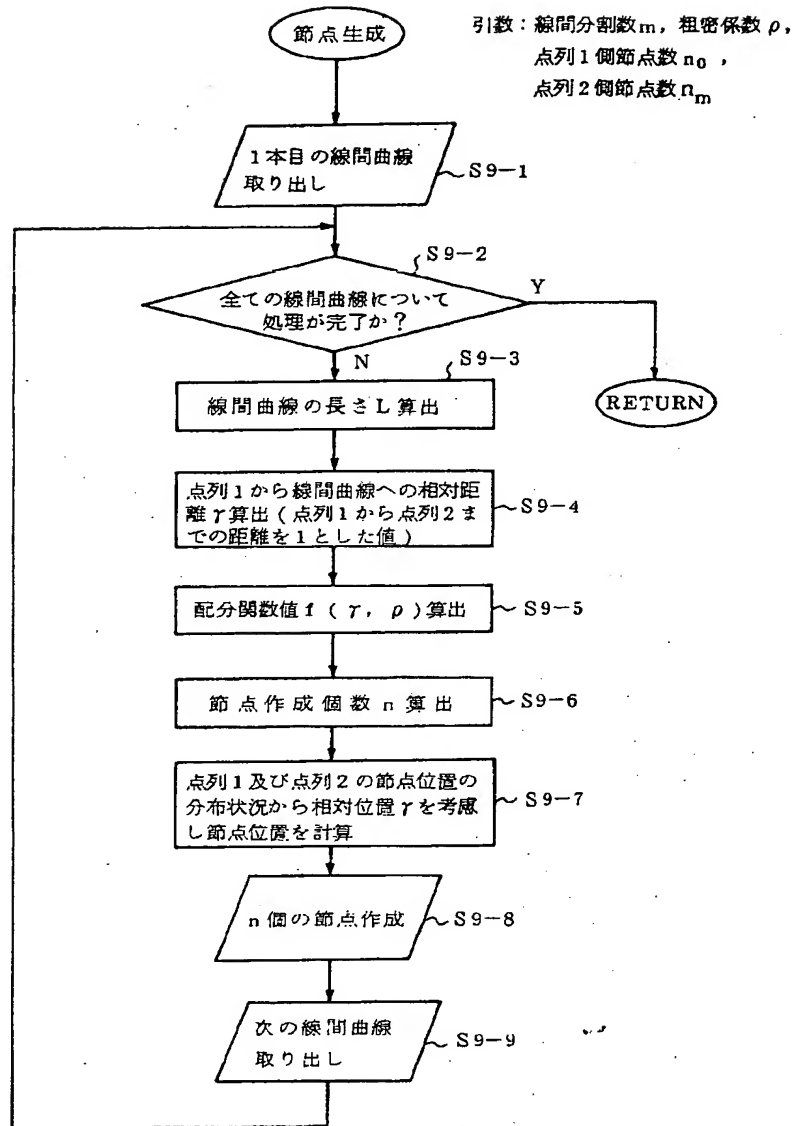
【図11】



【図7】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 吉川 雅之  
愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内

(72)発明者 水谷 徳之  
愛知県名古屋市東区東桜一丁目3番10号  
株式会社トヨタシステムリサーチ内

(72)発明者 後藤 美佐香

愛知県名古屋市東区東桜一丁目3番10号  
株式会社トヨタシステムリサーチ内